

**Список литературы:** 1. Грудев А.П. Захватывающая способность прокатных валков. М.: "СП Интермет Инжиниринг", 1998. – 283 с. 2. Гончаров Ю.В., Прокофьев В.И. Исследование экспериментальных методов определения коэффициента внешнего трения при прокатке // Обработка металлов давлением: Науч. тр. ДМетИ. – Вып. XLIX: – М.: Металлургия, 1965. – С.238-254. 3. Василев Я.Д. Развитие теории контактных напряжений при прокатке / Сучасні проблеми металургії. Наукові вісті. Том 5. Пластична деформація металів. Дніпропетровськ: Системні технології, 2002. – С.86-96. 4. Максименко О. П. Влияние режима трения на устойчивость прокатки при однозонном скольжении металла в валках / О. П. Максименко, Р. Я. Романюк, А. А. Никулин // Изв. вуз. Чёрная металлургия. 2008, № 6. – С.26-29. 5. Максименко О. П. Теоретический анализ захватывающей способности валков в установившемся режиме прокатки / О. П. Максименко, А.А. Никулин, Р. Я. Романюк // Изв. вуз. Чёрная металлургия. 2008, № 10. – С.32-34. 6. Такадзи Мидзуно. Экспериментальное исследование холодной прокатки / Сосей-то како. Том 7. 1966, № 66. – С.363-389. 7. Павлов И. М. К вопросу об отрицательном опережении при прокатке / И. М. Павлов, В. К. Белосевич // Изв. вуз. Чёрная металлургия. 1961, № 10. – С.46-49.

**УДК 621. 771. 057**

**СЕРЕДА Б.П.**, докт. техн. наук, проф., ЗГИА, г. Запорожье  
**КОВАЛЕНКО А.К.**, аспирант, ЗГИА, г. Запорожье

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ НА БОКОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПОЛОСЫ ПРИ ПРОКАТКЕ В КАЛИБРАХ**

Рассмотрен процесс прокатки в калибрах. Предложена математическая модель напряженно-деформированного состояния на боковой поверхности полосы. Найдено оптимальное соотношение параметров калибра, позволяющие рационально использовать энергетические и материальные ресурсы, а также получать прокат без брака.

Ключевые слова: оптимизация, калибр, полоса, деформация.

Розглянуто процес прокатування в калібрах. Запропоновано математична модель напружено-деформованого стану на бічній поверхні штаби. Знайдено оптимальне співвідношення параметрів калібру, що дозволяють раціонально використовувати енергетичні й матеріальні ресурси, а також одержувати прокат без браку.

Ключові слова: оптимізація, калібр, штаба, деформація.

A process proskating rink in calibres is considered. The mathematical model of the is intense-deformed condition on a lateral surface of a strip is offered. The optimum parity of parameters of the caliber is found, allowing rationally to use power and material resources, and also to receive hire without marriage.

Key words: an optimisation, a caliber, a strip, a deformation.

### **1. Введение**

В условиях постоянной борьбы за рынки сбыта продукция украинских производителей по соотношению цены и качества нередко проигрывает своим китайским и русским аналогам, поэтому наиболее остро стоит вопрос комплексного решения таких задач, как обеспечение роста производительности станов, повышение качества поверхности и макроструктуры проката.

Нередко эти требования производства находятся между собой в противоречиях и поэтому необходима оптимизация технологии прокатки. Важной задачей явл-

яется сокращение поверхностных и внутренних дефектов крупных слитков при прокатке на обжимных станах. Известно, что прокатка в системе ящичных калибров во многом определяют качество заготовки [1].

## 2. Постановка проблемы

В качестве критерия эффективности режимов прокатки широко применяется показатель степени использования запаса пластичности. Однако его определение в условиях реального процесса осложняется значительной неравномерностью деформаций и температур, поэтому предложенная математическая модель базируется на феноменологических представлениях критерия пластичности в постановке В.Л. Колмогорова [2], который в качестве такого критерия предложил величину  $\Lambda$  – степень деформации сдвига ( $d\Lambda = Hdt$ , где  $H$  – интенсивность деформации сдвига).

Для исследования напряженно-деформированного состояния проведено моделирование процесса прокатки в лабораторных условиях. Определены такие факторы оптимизации, как четыре безразмерных параметра, которыми характеризуется очаг деформации (рис. 1) при прокатке в калибрах ( $x_1 = D^*/H_1$  – приведенный диаметр валков;  $x_2 = H_0/H_1$  – коэффициент обжатия;  $x_3 = H_0/B_0$  – исходное отношение осей полосы;  $x_4 = (B_k - B_d)/H_1$  – выпуска калибра) и относительная координата точек на боковой поверхности раската ( $x_5 = z'/h$ ). Степень защемления полосы в калибре была принята равной единице ( $a_3 = B_0/B_d = 1$ ).

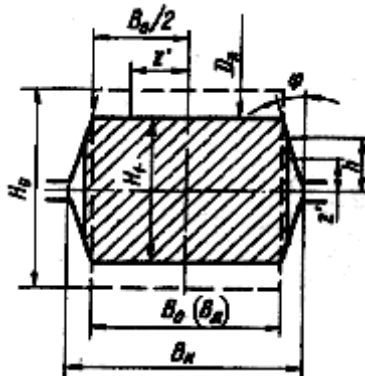


Рис. 1. Очаг деформации при прокатке в ящичном калибре

Уровни и интервалы варьирования выбраны в соответствии с реальным диапазоном изменения их в существующих калибровках рабочих валков (табл. 1).

Таблица 1

Факторы и количественные оценки их уровней

$x_1$			$x_2$			$x_3$			$x_4$			$x_5$		
$D^*/H_1$			$H_0/H_1$			$H_0/B_0$			$(B_k - B_d)/H_1$			$z'/h$		
-1	0	1	-1	0	1	-1	0	1	-1	0	1	-1	0	1
4,5	8,5	12,5	1,22	1,35	1,48	1	1,5	2	0,2	0,3	0,4	-1	0	1

С целью определения влияния выбранных факторов на напряженно деформированное состояние на боковой поверхности полосы был использован симметричный некомпозиционный план второго порядка для пяти факторов предложенный Боксом и Бенкеном (табл. 2). В соответствии с которым по выборке из плана  $3^5$  было проведено 46 опытов, шесть из которых на нулевом уровне.

Таблица 2

# Матрица пятифакторного симметричного некомпозиционного плана второго порядка

$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$
$\pm 1$	$\pm 1$	0	0	0
0	0	$\pm 1$	$\pm 1$	0
0	$\pm 1$	0	0	$\pm 1$
$\pm 1$	0	$\pm 1$	0	0
0	0	0	$\pm 1$	$\pm 1$
0	$\pm 1$	$\pm 1$	0	0
$\pm 1$	0	0	$\pm 1$	0
0	0	$\pm 1$	0	$\pm 1$
$\pm 1$	0	0	0	$\pm 1$
0	$\pm 1$	0	$\pm 1$	0
0	0	0	0	0

Образцы изготовляли из свинца, на все грани наносили координатную сетку с размером ячейки 2мм. После прокатки на лабораторных станах диаметром валков 120 и 280 мм получали недокаты. Координаты узлов сетки замеряли на инструментальном микроскопе. Обработка результатов экспериментального исследования проведена по методике множественного корреляционно-регрессионного анализа, изложенной в работах [3,4]. Для степени деформации сдвига на боковой поверхности полосы получено с уравнение регрессии (1) и построены поверхности отклика (рис. 2).

$$\Lambda = -0,815 - 0,014 \frac{D_*}{H_1} + 1,359 \frac{H_0}{H_1} - 0,066 \frac{H_0}{B_0} + 0,014 \frac{D_*}{H_1} \left(\frac{z'}{h}\right)^2 + 0,244 \frac{H_0}{H_1} \left(\frac{z'}{h}\right)^2 - (1) \\ - 0,089 \frac{H_0}{B_0} \left(\frac{z'}{h}\right)^2 - 0,013 \left(\frac{z'}{h}\right)^2$$

Для приведенной формулы коэффициент корреляции составил  $R = 0,91$ , среднее квадратическое отклонение  $S = 0,81$ .

Как видно наибольшее влияние на степень деформации сдвига оказывает степень обжатия, а наибольшие значения ее достигаются на участках поверхности, которые прилегают к боковому контакту (выпуску калибра).

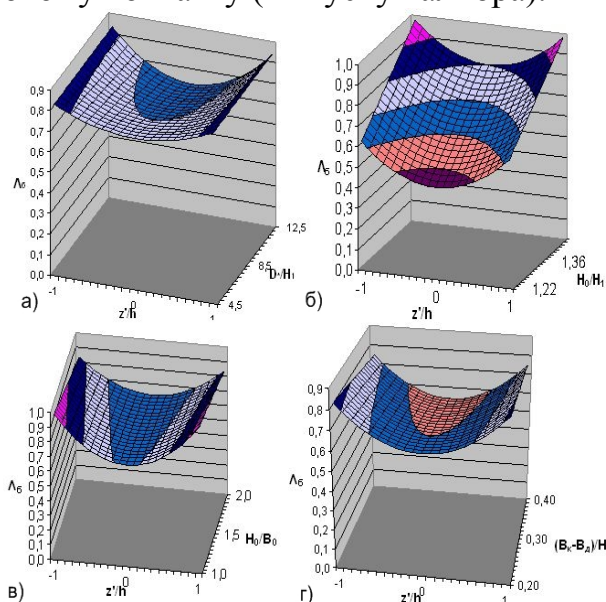


Рис. 2. Распределение  $\Lambda$  на поверхности полосы: а – при  $H_0/H_1 = 1,35$ ;  $H_0/B_0 = 2$ ;  $(B_k - B_d)/H_1 = 0,2$ ; б – при  $D_*/H_1 = 12,5$ ;  $H_0/B_0 = 2$ ;  $(B_k - B_d)/H_1 = 0,2$ ; в – при  $D_*/H_1 = 12,5$ ;  $H_0/H_1 = 1,35$ ;  $(B_k - B_d)/H_1 = 0,2$ ; г – при  $D_*/H_1 = 12,5$ ;  $H_0/H_1 = 1,35$ ;  $H_0/B_0 = 2$

Результаты расчета показывают, что данная методика позволяет прогнозировать степень деформации сдвига и может быть использована для проектирования калибровок валков и выбора рациональных режимов обжатий на блюминге [5].

**Список литературы:** 1. Колмогоров, В.Л. Пластичность и разрушение / В.Л. Колмогоров, А.А. Богатов, Б.А. Мигачев. – М.: Металлургия, 1977. – 366 с. 2. Колмогоров, В.Л. Напряжения. Деформация. Разрушение / В.Л. Колмогоров. – М.: Металлургия, 1970. – 230 с. 3. Воронцов, В.К. Об экспериментальном исследовании степени деформации сдвига по высоте раската / В.К. Воронцов, Р.Э. Гафаров, В.В. Лашин. – М: Изв. вуз. Черная металлургия, 1983, №6, с. 59 –62. 4. Новик, Ф.С. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов / Ф.С. Новик, Я.Б. Арсов. – М.: Машиностроение, 1980. – 304 с. 5. Серета, Б.П. Розробка оптимальних режимів прокатки та після деформаційної обробки прутків зі спеціальної сталі діаметром більше 270 мм / Б.П. Серета, О.М. Тумко, І.В. Кругляк, А.К. Коваленко / зб. наук. праць «Металургія» №19. – Запоріжжя, 2009. – с. 109 – 114.

**УДК 669.012.3**

**СТАСОВСКИЙ Ю.Н.**, докт. техн. наук, проф., НМетАУ, г. Днепропетровск

**ЧУХЛЕБ В.Л.**, канд. техн. наук, доц., НМетАУ, г. Днепропетровск

## **РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ В ПРОЦЕССАХ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ: СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ**

Рассмотрены проблемы ресурсосбережения в процессах обработки металлов давлением (ОМД) в Украине с современных позиций развития мирового человечества в условиях его стабильности. Показаны перспективные пути повышения энергоэффективности за счет реализации принципов индустриального симбиоза, рециркуляции, комплексности. Рассмотрена современная концепция энергетичности, малоотходности. Важное место занимают вопросы оптимизации процессов ОМД по энергетическим показателям.

Ключевые слова: ресурсосбережение, процессы обработки металлов давлением, энергоэффективность, оптимизация

Розглянуто проблеми ресурсозбереження в процесах обробки металів тиском (ОМТ) в Україні з сучасних позицій розвитку світового людства в умовах його стабільності. Показані перспективні шляхи підвищення енергоефективності за рахунок реалізації принципів індустріального симбіозу, рециркуляції, комплексності. Розглянуто сучасну концепцію енергетичності, малоеідходності. Важливе місце посідають питання оптимізації процесів ОМТ за енергетичними показниками.

Ключові слова: ресурсозбереження, процеси обробки металів тиском, енергоефективність, оптимізація

The resource savings problems are considered during the plastic deformation processes in Ukraine by modern positions of development of the world community on conditions of stability. Perspective ways of power efficiency increase are shown due to realisation of principles: industrial symbiosis, integrated approach. The important place is allocated to the questions of optimization of the plastic deformation processes on power parameters.

Key words: resource savings, the plastic deformation processes, power efficiency, optimization

**Введение.** Обработка металлов давлением (ОМД) является основным способом получения готовой металлопродукции и полуфабрикатов. Свыше 90% металла, который выплавляют, перерабатывается разными видами ОМД. Металлургия, в